



**EL PROYECTO  
EN  
INGENIERÍA QUÍMICA**

Consulte nuestra página web: [www.sintesis.com](http://www.sintesis.com)  
En ella encontrará el catálogo completo y comentado

# EL PROYECTO EN INGENIERÍA QUÍMICA

Juan J. Rodríguez Jiménez  
Víctor R. Ferro Fernández  
Sara Mateo Fernández  
Pablo Navarro Tejedor  
José Daniel Suárez Reyes



EDITORIAL  
SINTESIS

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente: por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

© Juan J. Rodríguez Jiménez  
Víctor R. Ferro Fernández  
Sara Mateo Fernández  
Pablo Navarro Tejedor  
José Daniel Suárez Reyes

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.  
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid  
Teléfono: 91 593 20 98  
[www.sintesis.com](http://www.sintesis.com)

ISBN: 978-84-1357-297-0  
Depósito Legal: M-24.899-2023

Impreso en España - Printed in Spain

# ÍNDICE

RELACIÓN DE AUTORES .....	11
PRÓLOGO .....	13
<b>1. EL PROYECTO DE INSTALACIONES QUÍMICAS .....</b>	<b>15</b>
Conceptos a estudiar.....	15
Objetivos para el aprendizaje .....	15
Glosario .....	16
1.1. Definición de proyecto.....	16
1.2. Tipos de proyectos.....	17
1.3. Identificación de oportunidades y análisis de alternativas .....	18
1.4. El proceso químico industrial .....	21
1.5. La planta química .....	22
1.6. La sostenibilidad en el proyecto de ingeniería química.....	23
1.7. La digitalización en el proyecto de ingeniería química.....	27
Resumen.....	29
Problemas propuestos.....	29
Preguntas de autoevaluación .....	29
<b>2. PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>31</b>
Conceptos a estudiar.....	31
Objetivos para el aprendizaje .....	31
Glosario .....	32
2.1. Ciclo de vida y fases del proyecto.....	32
2.1.1. Estudios previos .....	34
2.1.2. Definición del proyecto .....	34
2.1.3. Ingeniería conceptual .....	35
2.1.4. Ingeniería básica .....	36
2.1.5. Ingeniería de detalle .....	37
2.1.6. Construcción y puesta en marcha .....	38
2.2. Gestión y dirección del proyecto. ....	39
2.2.1. Consideraciones deontológicas .....	42
2.2.2. Gestión de riesgos.....	43

2.3. Planificación y programación .....	45
2.4. Gestión de la construcción y de contratos .....	52
Resumen.....	56
Problemas propuestos.....	56
Preguntas de autoevaluación .....	57
<b>3. ESTUDIO DE MERCADO .....</b>	<b>59</b>
Conceptos a estudiar.....	59
Objetivos para el aprendizaje .....	59
Glosario.....	60
3.1. Estudio de mercado. Análisis preliminar de viabilidad.....	60
3.1.1. Análisis de la evolución del mercado .....	61
3.1.2. Estudio de la demanda .....	61
3.1.3. Estudio de la oferta.....	62
3.1.4. Estudio de la competencia .....	63
3.1.5. Análisis del precio.....	64
3.1.6. Análisis de otros factores .....	64
3.1.7. Estudio de las barreras de entrada.....	66
3.1.8. Análisis DAFO.....	66
3.2. Tipos de mercado y segmentación .....	67
3.3. Plan de negocio .....	68
3.4. Propiedad industrial.....	69
Resumen.....	70
Problemas propuestos.....	71
Preguntas de autoevaluación .....	71
<b>4. DOCUMENTACIÓN DE UN PROYECTO .....</b>	<b>73</b>
Conceptos a estudiar.....	73
Objetivos para el aprendizaje .....	73
Glosario.....	74
4.1. Bases documentales de un proyecto .....	74
4.2. La documentación exigible a un proyecto por la administración.....	75
4.3. La memoria del proyecto.....	75
4.4. Documentación de la fase preliminar de viabilidad.....	76
4.5. Documentación de la fase de ingeniería básica, detalle, obra y puesta en marcha.....	77
4.6. Pliego de condiciones.....	80
4.7. Presupuesto .....	81
Resumen.....	82
Preguntas de autoevaluación .....	82
<b>5. INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BÁSICA.....</b>	<b>83</b>
Conceptos a estudiar.....	83
Objetivos para el aprendizaje .....	83
Glosario.....	84
5.1. Ingeniería conceptual: el diagrama de bloques.....	84
5.2. Balances de materia y energía .....	87

5.3. Ingeniería básica: el diagrama de flujo .....	89
5.4. Métodos aproximados y rigurosos en el dimensionado de equipos: las hojas de datos y las listas de equipos .....	92
5.4.1. Diseño de reactores .....	94
5.4.2. Diseño de columnas.....	96
5.4.3. Diseño de cambiadores de calor .....	97
5.4.4. Diseño de recipientes .....	99
5.5. Selección y limitaciones de los servicios auxiliares .....	99
5.6. Estrategia de control preliminar: el diagrama de instrumentación y control y la lista de líneas.....	100
5.6.1. Lazos de control por equipo .....	100
5.6.2. Análisis modular .....	104
5.6.3. Dimensionado de líneas .....	105
5.6.4. Diagrama preliminar de instrumentación, control y tuberías.....	106
5.6.5. Coste de instrumentación y control .....	107
Resumen.....	108
Preguntas de autoevaluación .....	108
6. INGENIERÍA DE DETALLE .....	109
Conceptos a estudiar.....	109
Objetivos para el aprendizaje .....	109
Glosario.....	110
6.1. Evolución del proyecto desde la ingeniería básica hasta la ingeniería de detalle .....	110
6.2. Hojas técnicas de especificaciones o de diseño mecánico de equipos e instalaciones ..	110
6.3. Diagrama de instrumentación y control final.....	116
6.4. Planos de obra: implantación, tridimensional, civil y de suministros .....	118
6.5. Control de costes y plazos .....	119
Resumen.....	120
Preguntas de autoevaluación .....	121
7. CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA.....	123
Conceptos a estudiar.....	123
Objetivos para el aprendizaje .....	123
Glosario.....	124
7.1. Introducción y secuencia constructiva de una planta.....	124
7.2. El emplazamiento desde el punto de vista constructivo.....	127
7.3. Información técnica para la construcción e interfaces con ingeniería .....	128
7.4. Gestión de la construcción .....	129
7.5. Gestión de los materiales en obra y metodología BIM .....	131
7.6. Transporte y montaje de equipos .....	132
7.7. Conflictos entre ingeniería, construcción y puesta en marcha durante la ejecución .....	133
7.8. Preparación de la puesta en marcha de la planta .....	133
7.9. Procedimientos de puesta en marcha.....	134
7.10. Ejecución de la puesta en marcha .....	138
7.11. La seguridad durante la construcción y puesta en marcha de la planta.....	141



Resumen.....	142
Problemas propuestos.....	142
Preguntas de autoevaluación .....	143
<b>8. LA SIMULACIÓN DE PROCESOS EN EL PROYECTO DE INGENIERÍA.....</b>	<b>145</b>
Conceptos a estudiar.....	145
Objetivos para el aprendizaje .....	145
Glosario.....	146
8.1. Introducción.....	146
8.2. Los simuladores comerciales de proceso.....	150
8.2.1. Estructura de los simuladores comerciales de proceso .....	151
8.2.2. La suite de programas Aspen ONE para la simulación de procesos .....	152
8.2.3. La ayuda ( <i>Help</i> ) en los simuladores de proceso comerciales .....	154
8.3. Tipos de cálculos y etapas de una simulación de procesos .....	154
8.4. Definición del sistema a simular .....	156
8.4.1. Selección y creación de componentes .....	156
8.4.2. Estimación de propiedades de componentes puros y mezclas .....	158
8.5. Modelado del proceso.....	168
8.5.1. Modelos complejos de proceso.....	172
8.6. Modelos de operaciones de proceso .....	174
8.6.1. Modelos para el cálculo de operaciones con reacción química.....	176
8.6.2. Modelos para el cálculo de operaciones de separación.....	184
8.6.3. Modelos para el cálculo de operaciones de intercambio de calor.....	190
8.6.4. Modelos para el cálculo de operaciones de impulsión de fluidos.....	193
8.6.5. Modelos para el cálculo de conducciones .....	196
8.7. Herramientas para modificar el modelo del proceso .....	200
8.7.1. Especificaciones de diseño .....	200
8.7.2. Modelos de usuario.....	201
8.8. Herramientas de análisis del modelo de proceso .....	202
8.8.1. Estudios de sensibilidad .....	203
8.8.2. Optimización .....	204
8.9. Análisis del proceso .....	212
8.9.1. Análisis energéticos y de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	212
8.9.2. Análisis exergéticos de operaciones y procesos industriales .....	217
Resumen.....	228
Problemas propuestos.....	229
Preguntas de autoevaluación .....	229
<b>9. LA EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL PROYECTO.....</b>	<b>231</b>
Conceptos a estudiar.....	231
Objetivos para el aprendizaje .....	231
Glosario.....	232
9.1. Relación entre las fases de la ingeniería y la evaluación económica en un proyecto....	232
9.2. El balance económico en el proyecto.....	233
9.2.1. Clasificación de los costes de un proyecto .....	234
9.2.2. Precios e índices de precios industriales.....	235

9.2.3. Actualización de precios .....	235
9.3. La inversión en el proyecto .....	236
9.3.1. Métodos generales de estimación del inmovilizado.....	237
9.3.2. Métodos factoriales de estimación del inmovilizado.....	240
9.4. El coste de producción en el proyecto .....	248
9.5. Ventas, beneficio y rentabilidad de un proyecto .....	252
9.5.1. Movimiento de fondos. Valor actual neto .....	254
9.5.2. Ayudas, incentivos y negociación en el contexto del interés especial de un proyecto.....	255
9.6. La estimación económica de proyectos y su interrelación con la ingeniería de procesos: Aspen Economics.....	256
Resumen.....	258
Preguntas de autoevaluación .....	258
10. NORMAS Y REGLAMENTOS TÉCNICOS.....	261
Conceptos a estudiar.....	261
Objetivos para el aprendizaje .....	261
Glosario.....	262
10.1. Introducción.....	262
10.2. Norma, normalización y certificación técnicas.....	264
10.2.1. Norma técnica .....	264
10.2.2. Normalización técnica .....	266
10.2.3. Certificación y acreditación técnicas.....	269
10.3. Entidades de normalización y certificación técnicas .....	273
10.4. Normalización y certificación técnicas. Estrategias empresariales ante estos procesos. Aspectos prácticos del uso de normas técnicas.....	274
10.5. Reglamentos técnicos.....	282
10.6. Normas y reglamentos técnicos vs. heurística en ingeniería de procesos .....	288
10.7. Normalización y reglamentación en materia de emisiones de gases de efecto invernadero .....	292
Resumen.....	295
Problemas propuestos.....	296
Preguntas de autoevaluación .....	298
11. BASES PARA EL ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD EN EL PROYECTO .....	301
Conceptos a estudiar.....	301
Objetivos para el aprendizaje .....	301
Glosario.....	302
11.1. Importancia de la seguridad en el proyecto de ingeniería química .....	303
11.2. El informe de seguridad .....	306
11.3. Bases para el estudio de la seguridad en el proyecto.....	307
11.4. Metodología para el análisis y evaluación de riesgos.....	310
11.4.1. Análisis de riesgos y operabilidad (HAZOP) .....	311
11.4.2. Análisis de árbol de fallos (FTA) y árbol de eventos (ETA) .....	315
11.5. Riesgos específicos más importantes en las instalaciones químico-industriales .....	318
11.5.1. Riesgo de incendio y explosión. Índice Dow .....	319

11.5.2. Emisiones de sustancias tóxicas .....	322
Resumen.....	324
Problemas propuestos.....	325
Preguntas de autoevaluación .....	325
<b>12. LA EVALUACIÓN AMBIENTAL EN EL PROYECTO DE INSTALACIONES QUÍMICAS .....</b>	<b>327</b>
Conceptos a estudiar.....	327
Objetivos para el aprendizaje .....	327
Glosario.....	328
12.1. El factor ambiental en el proyecto de ingeniería química .....	329
12.1.1. La jerarquía en la gestión ambiental. Prevención frente a corrección.....	330
12.2. El estudio de impacto ambiental .....	331
12.3. La autorización ambiental integrada .....	333
12.4. Mejores técnicas disponibles. Documentos de referencia .....	335
12.5. Previsión de las medidas para minimizar la contaminación ambiental en el proyecto	336
12.5.1. Técnicas para el control de la contaminación atmosférica.....	337
12.5.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	339
12.5.3. La gestión de los residuos en las instalaciones industriales .....	341
Resumen.....	342
Problemas propuestos.....	343
Preguntas de autoevaluación .....	343
<b>13. CASO PRÁCTICO: PRODUCCIÓN DE METANOL A PARTIR DE GAS DE SÍNTESIS</b>	<b>345</b>
Conceptos a estudiar.....	345
Objetivos para el aprendizaje .....	345
Glosario.....	346
13.1. Bases del diseño.....	346
13.1.1. Descripción del proceso .....	346
13.1.2. Especificaciones del proceso.....	347
13.1.3. Modelo cinético.....	348
13.1.4. Modelado del proceso con Aspen Hysys .....	349
13.2. Ingeniería básica .....	350
13.3. Proyecto económico .....	350
Resumen.....	355
Preguntas de autoevaluación .....	355
Anexo. Material técnico del proyecto.....	356
<b>SOLUCIONES DE LAS PREGUNTAS DE EVALUACIÓN .....</b>	<b>383</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>385</b>

# 2

## PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

---

### CONCEPTOS A ESTUDIAR

- Ciclo de vida y fases del proyecto.
- Gestión, dirección y ética en proyectos.
- Planificación y programación.
- Gestión de la construcción y de contratos.

### OBJETIVOS PARA EL APRENDIZAJE

- Comprender las fases que componen un proyecto desde su concepción hasta su materialización en una instalación productiva.
  - Comprender las técnicas para la planificación de proyectos.
  - Identificar los actores involucrados en la ejecución de un proyecto y su papel en el mismo.
  - Conocer los procedimientos de contratación para la realización del proyecto en todas sus fases.
-

## Glosario

*Ciclo de vida del proyecto de ingeniería.* Conjunto de fases que componen la ejecución de un proyecto.

*Definición del proyecto.* Etapa inicial del proyecto en la que, a partir de la idea matriz, se establecen los objetivos del mismo.

*Ingeniería conceptual.* Etapa del proyecto en la que se determina el alcance del mismo y la selección del proceso a partir del análisis preliminar de su viabilidad técnica, económica, medioambiental y de seguridad, así como el conocimiento de las regulaciones a cumplir.

*Ingeniería básica.* Etapa del proyecto en la que se confecciona toda la información técnica relativa al cálculo y diseño básico de los componentes del sistema, sobre la base de la optimización del mismo, ajustando más la estimación económica del proyecto.

*Ingeniería de detalle.* Etapa del proyecto en la que se realiza el diseño detallado de la planta industrial conforme a las normas técnicas, cumpliendo con los criterios de seguridad, impacto ambiental, requerimientos contractuales del cliente, conocimiento detallado de la tecnología, etc., con el objetivo final de generar documentación suficiente para llevar a cabo la construcción, puesta en marcha y operación eficiente de la planta.

*Construcción y puesta en marcha.* La construcción da forma física a la documentación elaborada en las etapas anteriores y la puesta en marcha permite comprobar que lo construido funciona acorde a lo diseñado previamente.

*Gestión de proyectos.* Combinación de conocimientos, procedimientos y técnicas para garantizar el cumplimiento de los objetivos del proyecto dentro del plazo y presupuesto pautados.

*Planificación del proyecto.* Actividad de la gestión de proyectos que ordena y monitoriza las tareas y los recursos del proyecto para garantizar el cumplimiento de los objetivos del mismo.

*Programación del proyecto.* Actividad de la gestión de proyectos que ordena la planificación en el tiempo.

*Gestión de contratas.* Procedimientos para la selección y contratación de las entidades encargadas de la ejecución del proyecto en sus distintas fases y componentes.

### 2.1. Ciclo de vida y fases del proyecto

Un proyecto nace de una idea que dé respuesta a un problema primitivo o necesidad. Para poder materializarla, en primer lugar, es necesario enmarcarla en un contexto, analizando de forma preliminar la viabilidad técnico-económica de convertir dicha idea matriz en uno o varios productos comerciales capaces de cubrir una necesidad convenientemente identificada. La ejecución del proyecto consiste en la materialización de la idea a través del diseño, construcción y verificación de los elementos que requiere la planta

industrial transformadora hasta la puesta en marcha de la misma. Esta secuencia operativa, definida en el tiempo, constituye lo que se denomina ciclo de vida de un proyecto de ingeniería. El ciclo de vida de un proyecto, en su acepción más amplia, incluiría, así mismo, la operación, mantenimiento y cierre del sistema industrial resultante, durante su vida útil. Esta fase se conoce como ciclo de vida de la planta industrial. A pesar de que este segundo ciclo incluye la ejecución del cierre de la planta, es muy frecuente que esta fase se diseñe durante el ciclo de vida del proyecto de ingeniería, considerando aspectos de ingeniería, económicos, seguridad, protección del medioambiente, riesgos y uso futuro del suelo.

Por tanto, el ciclo de vida de un proyecto incluye tanto el correspondiente al proyecto de ingeniería como el de la planta industrial. Este libro se centra en el ciclo de vida del proyecto de ingeniería y contempla desde la gestación del mismo hasta su completa ejecución, a través de una secuencia constituida por las siguientes fases:

1. Estudios previos: análisis de oportunidad de la idea matriz.
2. Definición del proyecto.
3. Ingeniería conceptual.
4. Ingeniería básica preliminar y avanzada.
5. Ingeniería de detalle y gestión de compras.
6. Construcción y puesta en marcha.

A medida que se avanza en el ciclo de vida del proyecto de ingeniería, aumenta el nivel de desarrollo del mismo y, consecuentemente, el volumen de recursos económicos y materiales necesarios (figura 2.1), si bien es cierto que, una vez que la construcción de la planta está avanzada, los recursos descienden hasta un nivel constante, cuyo valor se corresponde con los gastos de operación de la planta.

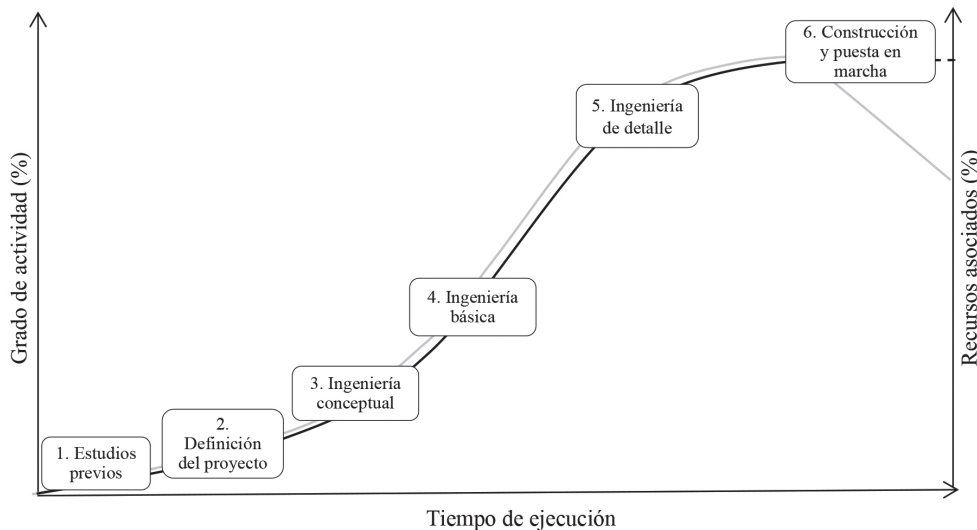


Figura 2.1. Desarrollo de un proyecto de ingeniería (en negro) y recursos económicos (en gris) (ref. 1, 10).

Además, el avance en el ciclo de vida del proyecto de ingeniería permite un mayor grado de exactitud en la estimación de la inversión, tal y como muestra en el cuadro 2.1.

CUADRO 2.1  
*Estimación de la inversión durante el ciclo de vida*  
(Miranda Rodríguez A. (1998) Diss. UCM)

<i>Etapa del proyecto</i>	<i>Error en la estimación</i>
Definición y alcance	40 a 50 %
Ingeniería conceptual	25 a 40 %
Ingeniería básica preliminar	15 a 25 %
Ingeniería básica avanzada	10 a 15 %
Ingeniería de detalle	5 a 10 %

A continuación, estas fases se analizan de forma individual (ref. 1, 2, 4, 6, 9). Es importante tener en cuenta que algunas de las actividades aquí establecidas para cada etapa pueden ser realizadas en la precedente o subsiguiente, según el criterio de la entidad que ejecuta el proyecto.

### *2.1.1. Estudios previos*

Es importante, de forma previa a la realización de un proyecto, llevar a cabo un estudio de mercado que permita una estimación predictiva de la viabilidad del proyecto, en base a análisis de la demanda, de los precios de mercado y de las vías de comercialización, necesario para prediseñar la futura estrategia comercial (ref. 6).

### *2.1.2. Definición del proyecto*

En esta etapa se establece el objetivo principal del proyecto. En un proyecto de ingeniería química, dicho objetivo se centra, en general, en fabricar un producto para el que se ha identificado una oportunidad de mercado plausible. Un ejemplo puede ser la producción de metanol, con una demanda potencial para distintos usos, en un país o área geográfica.

El objetivo general se va acotando a partir de estudios más detallados, que permiten adoptar decisiones plausibles sobre las variables de conjunto. Se trata, esencialmente, de decidir sobre la capacidad de producción de la futura planta, con indicación de calidad o calidades de producto y posibles subproductos, materias primas a emplear, procedimiento de transformación, al nivel, en su caso, de la tecnología específica, y selección de emplazamiento para la instalación. Estos objetivos marcan las bases del futuro diseño. Para el ejemplo antes señalado, de producción de metanol, se podrían identificar los siguientes objetivos específicos:

- Aprovechamiento de gas de síntesis como materia prima.
- Obtener metanol de uso comercial con una pureza mínima del 99,85 %.
- Capacidad de producción de 300 000 t/año.

Además, se establecen otro tipo de objetivos de carácter estratégico o empresarial, relativos a los resultados económico-financieros, así como beneficios sociales, que apoyen la imagen corporativa de la entidad, que se pretenden obtener con la ejecución del proyecto. Para el caso anterior, podrían citarse, a modo de ejemplo, los siguientes:

- Aumentar la capitalización de mercado de la empresa.
- Aumentar su visibilidad en el mercado internacional.
- Mejorar la consideración social de la empresa.
- Aprovechamiento de incentivos fiscales.

Tanto los objetivos técnico-económicos como los de carácter estratégico y sociales se definen en la fase de ingeniería conceptual. La consecución de estos objetivos pasa por el establecimiento de planes operativos, que definen las acciones a realizar y se concretan en forma de tareas que constituyen la base de la planificación del proyecto. La mayor parte de estas tareas están ligadas a las fases de ingeniería básica y de detalle. Para un proyecto de ingeniería química como el caso del ejemplo antes señalado, se podrían identificar, entre otros, los siguientes objetivos operativos:

- Reformado catalítico de metanol para obtención de gas de síntesis.
- Conversión química del gas de síntesis en metanol y posterior tratamiento de separación que permita obtener el producto de uso comercial con la calidad requerida.
- Diseño y construcción de una planta industrial con una capacidad para producir 300000 t/año.
- Realización de un estudio de viabilidad técnica y económica que informe sobre la posibilidad real de conseguir los objetivos financieros de la empresa.
- Reducción de costes mediante la recuperación de componentes y/o energía de corrientes residuales, para optimizar el rendimiento económico.
- Establecimiento de los servicios auxiliares a utilizar.
- Evaluación de distintos emplazamientos eventualmente potenciales, teniendo en cuenta la climatología y la proximidad tanto a las fuentes de materias primas como a los mercados, así como a la disponibilidad de vías y sistemas de transporte.

Para garantizar que un proyecto alcanza los objetivos establecidos se definen los llamados KPI (Indicadores Claves de Desempeño o *Key Performance Indicators*, por sus siglas en inglés). Estos indicadores permiten evaluar si las acciones y tareas se están abordando de forma que se cumplan los objetivos previamente establecidos. Por este motivo, su adecuada selección resulta un paso previo esencial. Los KPI deben tener periodicidad, ser evaluables y resultar claves para el desarrollo del proyecto. Se pueden clasificar en indicadores de tiempo, económicos, de calidad y técnicos.

### 2.1.3. Ingeniería conceptual

En esta fase se aborda la definición del alcance del proyecto. Para acometer un proyecto es necesario analizar e identificar las opciones que conlleven al cumplimiento de objetivos y especificaciones fijadas en la definición del proyecto y a criterios preferentes para seleccionar la más adecuada tanto económica-financieramente como técnicamente. La



ingeniería conceptual marca las pautas de la ingeniería básica y de detalle. Incluye las siguientes actividades:

- Definición de las bases de diseño: productos y calidad de los mismos, capacidad de producción, materias primas y su calidad.
- Selección del proceso de fabricación.
- Estudio preliminar de los equipos, selección de las operaciones y de las condiciones de trabajo.
- Elaboración de los diagramas de bloques.
- Realización de los balances preliminares de materia y energía.
- Estudio preliminar y definición de los servicios auxiliares y de los límites de batería.
- Establecer la ubicación y extensión aproximada considerando posibles modificaciones/expansión.
- Análisis de la accesibilidad a materias primas y otros recursos.
- Estudio de la normativa y regulaciones vigentes.
- Estimación inicial de la inversión necesaria (25-40 % de desviación).
- Análisis preliminar de la viabilidad económico-financiera.

Con respecto a la selección del proceso de fabricación, es conveniente tener en cuenta no solo factores técnicos y económicos, sino también criterios de seguridad, así como las regulaciones medioambientales aplicables a la instalación. No tener en cuenta los aspectos más importantes de estos criterios en fases tempranas del proyecto, al menos preliminarmente, puede suponer la diferencia entre el éxito o el fracaso de un proyecto. Como ejemplo, puede plantearse el caso de una tecnología que se ha seleccionado tras una evaluación poco rigurosa por considerarse muy ventajosa técnica y económicamente. Sin embargo, en fases posteriores (como la ingeniería básica) pudiera advertirse que la regulación medioambiental (que no ha sido evaluada en profundidad durante la ingeniería conceptual) obligará a tratar alguno de los efluentes mediante un proceso complejo y costoso, dando como resultado un sobre coste no considerado y unos parámetros de rentabilidad que el inversor no es capaz de asumir, descartando la viabilidad del proyecto.

#### *2.1.4. Ingeniería básica*

Mientras que la ingeniería conceptual estudia las diferentes opciones para cumplir los requisitos establecidos, teniendo en cuenta los costes asociados, para, en base a ello seleccionar la opción más adecuada, la fase de ingeniería básica desarrolla en profundidad el diseño básico de la misma. Uno de los principales objetivos de esta fase es acotar aún más la estimación del coste de inversión del proyecto, para reducir el riesgo de llevar a cabo dicha inversión. En esta etapa se elabora toda la información técnica de la planta sobre la que se apoyará la ingeniería de detalle. En ella, se desarrollan las siguientes actividades:

- Revisar exhaustivamente la ingeniería conceptual.
- Elaborar un diagrama de flujo preliminar.
- Realizar y cerrar los balances de materia y energía.
- Diseñar y dimensionar los componentes de la planta, equipos del proceso (reactores, unidades de separación, bombas, etc), de los servicios auxiliares (tuberías,

- instrumentación y control, sistemas hidráulicos y eléctricos, sistemas de seguridad, control de emisiones).
- Elaborar los diagramas de flujo, P&ID básicos (Piping and Instrumentation Diagrams) y planos principales.
- Estudiar los consumos asociados a la operación de los componentes de la planta.

Esta etapa la desarrolla un grupo menos numeroso que el que lleva a cabo la siguiente de ingeniería de detalle e incluye un equipo dedicado a la ingeniería básica, propiamente dicha, y un equipo de validación (ref. 9). Esta etapa, aunque representa aproximadamente un 15 % del coste de ejecución del proyecto, supone un 80 % de las decisiones del mismo en términos de coste y proporciona un valor estimado de la inversión con una desviación, en general, entre un 15 y un 25 %, permitiendo evaluar con más seguridad la viabilidad del proyecto.

Es habitual el uso de distintas herramientas, tales como simulaciones y algoritmos de optimización, así como estudios FEED (*Front End Engineering Design*, por sus siglas en inglés) o ingeniería básica avanzada. Este tipo de ingeniería se realiza para ayudar en la toma de decisión sobre la inversión y para detectar operaciones de riesgo. Para ello, se analizan más en profundidad los requisitos específicos y se plantean posibles cambios en el diseño, con vistas a mejorar la operabilidad y rentabilidad de la planta. Estas herramientas y estudios permiten minimizar considerablemente los costes y adquirir un conocimiento de la planta suficiente como para abordar la ingeniería de detalle de los equipos y comenzar el proceso de contrataciones para la construcción de los mismos.

### 2.1.5. Ingeniería de detalle

Esta etapa comprende el diseño detallado de los componentes de la planta y la elaboración, conforme a normas, recomendaciones y estándares, de la información necesaria para abordar la construcción de los equipos, ajustándose a las especificaciones de la ingeniería básica (ref. 9). Durante esta etapa se llevan a cabo las siguientes actividades (ref. 4, 9):

- Revisión exhaustiva de la ingeniería básica.
- Desarrollo de las hojas de especificaciones técnicas de equipos y materiales, así como de especificaciones funcionales.
- Diseño, dimensionamiento y normalización de tuberías.
- Diseño, cálculo y normalización de sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos.
- Diseño de la instrumentación y control.
- Realización detallada de los diagramas P&ID (Piping and Instrumentation Diagrams).
- Diseño mecánico de todos los equipos, tanto principales como auxiliares, selección del material, determinación de los espesores, soldaduras, soportes y encaje en la planta.
- Preparación de la obra civil y estructuras con especificaciones técnicas de construcción, provisión y montaje, dimensionado del emplazamiento, planos de nivelación y movimientos de tierra, cimentaciones, sistemas de suministro de agua y gas, desagües, sistema eléctrico, segregación de tensiones, tuberías, etc.

- Programación y conexiones.
- Diagrama unifilar.
- Planos de implantación.

En esta etapa del proyecto se genera la documentación técnica a partir de la cual se construye la planta, que incluye la correspondiente a ingeniería (planos, memorias de cálculo que soportan la toma de decisiones, pliegos de condiciones, especificaciones técnicas, planificación, etc.) y la relativa a fabricantes (planos, manuales y especificaciones técnicas). Esta documentación se somete a un estudio de aprobación antes de dar paso a la fase de construcción.

Esta etapa se lleva a cabo por equipos de ingeniería y de validación, más numerosos, en conjunto, que los de ingeniería básica, debido a que requiere de especialistas en distintas disciplinas, tales como electricidad y electrónica, mecánica, obra civil y arquitectura, entre otras. Además, durante esta etapa se realiza en paralelo la gestión de compras, durante la cual se abordan las siguientes tareas:

- Gestión de compras propiamente dicha: búsqueda y selección de proveedores, evaluación de ofertas, realización de las órdenes de compra y facturación.
- Activación: control del cumplimiento de los plazos.
- Inspección: supervisión del cumplimiento de los pedidos recibidos con las especificaciones y otras características establecidas en las órdenes de compra. La inspección se realiza en el momento de la recepción y posteriormente en comprobaciones durante la construcción de la planta y en pruebas durante la puesta en marcha.

#### *2.1.6. Construcción y puesta en marcha*

La construcción consiste en dar forma física a la documentación elaborada en las etapas anteriores del proyecto, abordando la instalación de los componentes de la planta, cumpliendo con la normativa y regulaciones aplicables. Durante esta fase se llevan a cabo diversas actividades tales como:

- Recepción y control de equipos y materiales.
- Obra civil.
- Instalación de equipos, tuberías y suministros auxiliares cumpliendo la normativa aplicable.
- Instalación eléctrica y de instrumentación.
- Montaje de aislamientos.
- Control y supervisión de los trabajos y de la calidad.
- Acondicionamiento de la planta y de los equipos.
- Elaboración de instrucciones para puesta en marcha, operación normal, en parada y de emergencia.
- Gestión de la construcción y de contratos.

En esta etapa participan los equipos de montaje, construcción e inspección. Este último coordina a todas las partes participantes, supervisa y aprueba las operaciones con el apoyo del grupo de técnicos encargados de la ingeniería de detalle.

De forma paralela se lleva a cabo la formación del personal, para capacitar a los trabajadores encargados tanto de la puesta en marcha como de la operación y mantenimiento de la planta ante situaciones de operación diaria, anómalas y de emergencia de la misma y también para paradas y nuevos arranques. Esta formación puede ser de tipo teórico, entrenamientos en una unidad similar, entrenamientos en planta o combinación de estas en función de la misión y de la responsabilidad del personal (ref. 4). Es cada vez más común el uso de Sistemas de Entrenamiento de Operadores (*OTS, Operator Training Systems*, por sus siglas en inglés), que simulan el comportamiento de los equipos y unidades y el funcionamiento de los sistemas de control de la planta real. Los OTS constan de modelos de simulación dinámico-rigurosos de los equipos y sistemas, simulaciones del control y entornos de trabajo semejantes a los reales [Feliu Gil, J. (2015). *Industria química*, 26, 44-49].

Una vez construida la planta, se inicia la fase de comisionado y puesta en marcha de la misma, con el objetivo principal de comprobar que lo construido funciona acorde a lo diseñado en las etapas previas y que puede operarse tal como se había planificado. Se abordan las siguientes actividades:

- Precomisionado y comisionado.
- Puesta en marcha de la instalación.
- Ejecución de pruebas de rendimiento para la aceptación provisional/definitiva.
- Inicio de la operación de la planta.
- Validación de la disponibilidad de la planta.

Una vez realizada la puesta en marcha de la planta y su validación, esta entra en producción, etapa que se denomina “operación de la planta”. Durante los primeros meses de operación, la entidad propietaria de la planta tiene derecho a comprobar el funcionamiento de la misma, lo que se conoce como período de garantía o prueba (ref. 4). Este periodo lleva asociadas retenciones económicas para la entidad que ha realizado el diseño y construcción de la planta, la cual se responsabiliza de los defectos constructivos o de instalación. Suele durar entre 6 meses y 1 año. Una vez finalizado el período de garantía, la operación de la planta suele acompañarse, en paralelo, de una fase de mantenimiento, para garantizar el correcto y continuo funcionamiento, contribuyendo a la mejora continua del rendimiento y la gestión de las instalaciones.

## 2.2. Gestión y dirección del proyecto

La gestión del proyecto ha de garantizar el cumplimiento de los objetivos del mismo, en tiempo, forma y de acuerdo al presupuesto, a través del conjunto de conocimientos, actividades y técnicas necesarias para la organización y control de todas las partes involucradas en su ejecución (ref. 10). La adecuada gestión de un proyecto favorece la toma de decisiones coordinada y temprana posibilitando la rápida actuación ante desviaciones y la eficiencia en cuanto a recursos y tiempos de ejecución. Esta tarea incluye (ref. 3, 10):

- *Planificación*: desglosa el proyecto en actividades, les asocia recursos humanos y materiales y establece su tiempo de ejecución.

- *Programación*: ordena las actividades en el tiempo con fechas de inicio y fin.
- *Seguimiento y control del proyecto*: se encarga de establecer las metodologías para monitorizar el progreso y las desviaciones de cualquier índole con respecto a los objetivos inicialmente marcados.
- *Gestión de riesgos*: se trata de identificar y supervisar eventos que, si suceden, pueden comprometer el progreso del proyecto, con el fin de llevar a cabo acciones preventivas y/o de mitigación.
- *Gestión de la calidad*: se encarga de establecer las políticas de calidad para la gestión del proyecto y monitorizar su cumplimiento. No debe confundirse con la gestión de la calidad del proceso productivo y del producto, la cual se lleva a cabo durante el ciclo de vida de la planta industrial.
- *Gestión administrativa*: gestión económica de los recursos humanos y materiales.
- *Gestión de la propiedad industrial*: para asegurar la confidencialidad del proyecto y de sus resultados.
- *Gestión de la comunicación*: ha de garantizar la cooperación de todas las partes involucradas y la visibilidad social del proyecto.
- *Gestión de la ética*: ha de garantizar la ética profesional y los derechos de todas las partes involucradas.
- *Gestión de la documentación*: consistente en establecer las pautas a seguir por todos los involucrados en el proyecto a la hora de realizar documentos, ya sean técnicos, financieros o de cualquier otra índole.

La gestión de proyectos ha ido ganando importancia creciente, habiéndose desarrollado diversas técnicas para garantizar el desempeño eficaz de la misma:

- *Project Management* (administración del proyecto, ref. 10): consiste en planificar de forma predictiva los recursos necesarios, teniendo en cuenta el alcance del proyecto, el plazo de ejecución y el presupuesto pautado inicialmente. Este tipo de planificación utiliza técnicas de seguimiento del proyecto que permiten contrastar, a lo largo del desarrollo del mismo, el estado real con los objetivos inicialmente fijados y, en base a los resultados de esa comparación, realizar modificaciones allí donde se hayan detectado desviaciones. Esta técnica es la más utilizada actualmente por su adaptabilidad a cualquier tipo de proyecto.
- *Metodologías ágiles*: estas técnicas dividen el proyecto en hitos, conocidos bajo la denominación de “sprints”, y establecen objetivos para los mismos. Antes del comienzo de cada “sprint” se evalúan los objetivos, necesidades y recursos y tras su finalización se verifica el cumplimiento exitoso de los objetivos pautados, para poder comenzar el siguiente “sprint”. Se utiliza mucho para proyectos informáticos, pero puede aplicarse en cualquier otro campo de la ingeniería.
- Metodología *BIM* (*Building Information Modeling*, por sus siglas en inglés): es una metodología exclusiva para los proyectos de construcción o para esta fase dentro de un proyecto de otra índole, como ya se ha comentado en el capítulo 1.

Las partes involucradas en la gestión de un proyecto son las siguientes (ref. 1, 4, 6, 10, Ley 38/1999).

- *Director*: la persona que ejerce la responsabilidad de dirigir el proyecto, es decir, la responsable de la gestión del mismo y, por tanto, de garantizar el cumplimiento de los objetivos ajustándose al presupuesto marcado en el tiempo establecido. Sus tareas consisten en la asignación, coordinación y planificación de los recursos, tanto humanos como de otra índole, diseño de la organización del proyecto, programación, seguimiento y control continuo de todas las actividades, previsión de riesgos y resolución de problemas, así como la comunicación entre todas las partes involucradas y apoyo a todas ellas durante la ejecución del proyecto. Asume la toma de decisiones y, en su caso, la replanificación y reprogramación del proyecto ante posibles desviaciones. A nivel externo, el director es el representante de la empresa que ejecuta el proyecto ante los entes directa e indirectamente involucrados en el mismo, así como ante la administración pública.
- *Equipo de dirección del proyecto*: equipo multidisciplinar, que da soporte al director del proyecto, compuesto por los responsables de cada área y de cada etapa. Los papeles comúnmente identificados consisten en la responsabilidad en las áreas de ingeniería, seguridad, administración, logística y compras, calidad y medio ambiente. En cuanto a los responsables de las etapas del proyecto, sus papeles serían ingeniería, construcción y puesta en marcha. En este contexto, cada responsable asume la función de dirección del área y/o etapa que le ha sido asignada y debe controlar y gestionar el avance del proyecto, así como las desviaciones que puedan darse durante la ejecución del mismo, informando en todo momento al director del proyecto.
- *Equipo de proyecto*: compuesto por todas las personas que realizan el proyecto, que reportarán a su responsable dentro del equipo de dirección.
- *Cliente/entidad propietaria/promotor*: se entiende por cliente a la entidad que ostenta la titularidad del proyecto, la propiedad intelectual derivada del mismo y el derecho de ejecución. Por norma general, es el cliente el que proporciona los recursos financieros y el que fija las condiciones y características del producto final, el tiempo de ejecución y el presupuesto para llevarlo a cabo. Además, actúa como interlocutor con la administración pública y gestiona la obtención de las licencias y autorizaciones necesarias, así como los seguros para subsanar los daños de cualquier naturaleza que puedan producirse durante la ejecución del proyecto. El director del proyecto informa al cliente con periodicidad del avance del mismo.
- *Patrocinador*: figura que asume los costes del proyecto en los casos en los que el cliente no lo hace. Cliente y patrocinador serán informados por el director del proyecto del avance del mismo con una periodicidad previamente establecida o ante cualquier circunstancia que lo requiera.
- *Usuario*: beneficiario del resultado de la ejecución del proyecto.
- *Contratistas*: agentes externos encargados de una o varias partes del proyecto, como, por ejemplo, la empresa constructora de la planta. Este punto se abordará con más detalle en la sección 2.4.
- *Proveedores*: agentes externos responsables de suministrar los productos y/o servicios que no pueden ser aportados por el equipo de proyecto, por ejemplo, fabri-

cantes de equipos, suministradores de materias de partida, servicio de acometida de la corriente eléctrica, etc.

- *Otros participantes externos* (ref. 6): se enmarcan en este apartado las entidades financieras y aseguradoras, los colegios profesionales encargados de validar técnicamente el proyecto de forma previa a la construcción del mismo y los organismos públicos y privados encargados de otorgar las licencias y de realizar las inspecciones que garantizan el cumplimiento de la normativa vigente.

Estas figuras se recogen en un organigrama, un diagrama donde se identifican todas las partes involucradas en la ejecución del proyecto y la relación jerárquica entre ellas, la cual suele identificarse con la metodología de reporte de la información. Los papeles se identifican mediante bloques, en los que se incluyen la persona o personas que asume cada responsabilidad. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de organigrama.

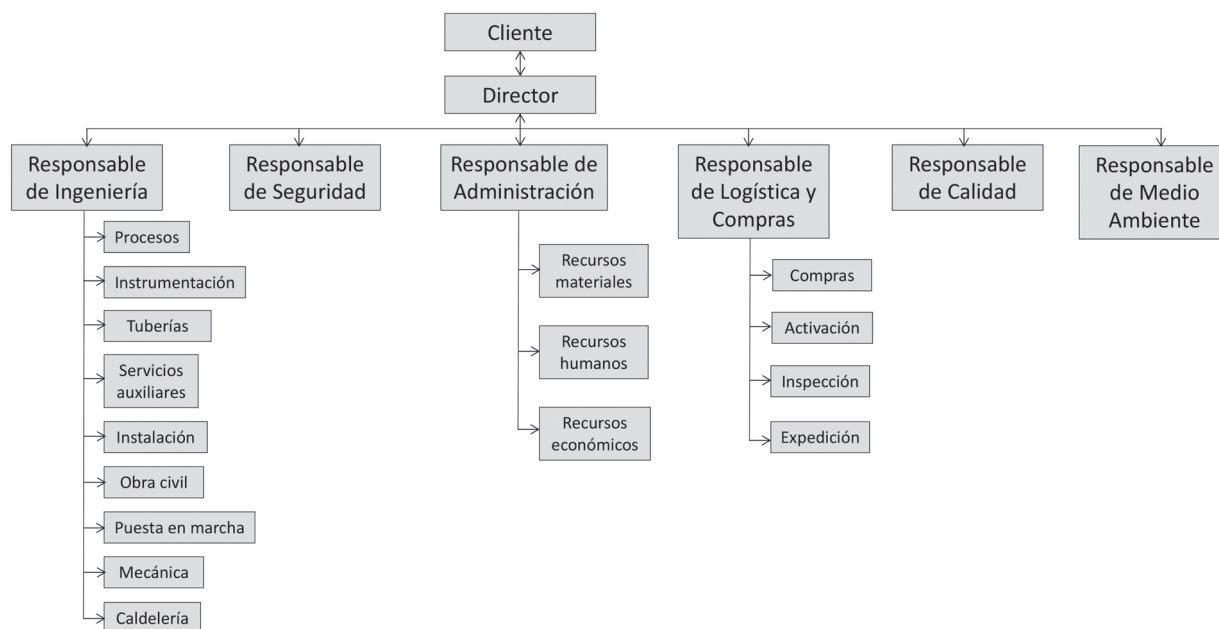


Figura 2.2. Organigrama tipo de un proyecto de ingeniería.

### 2.2.1. Consideraciones deontológicas

Todas las partes involucradas en el proyecto deben guiarse por valores morales y de ética profesional y asumir no solo las obligaciones establecidas en la normativa y regulaciones vigentes, sino también las que adquieren para con la sociedad, la empresa, el cliente, la profesión y su propia persona, en la toma de decisiones y la ejecución de su trabajo. De esta forma se garantiza que el proyecto, en toda su extensión, cumpla los principios éticos y criterios ESG (*Environment, Social and Government*, por sus siglas en inglés), que pueden resumirse en los siguientes (ref. 5):